

Protecting Quantum resources from noise, Streszczenie

Technologie kwantowe stanowią różnorodną i dynamicznie rozwijającą się dziedzinę, będąc kluczowym elementem współczesnej rewolucji naukowej. Wykorzystując szczególne właściwości mechaniki kwantowej, technologie te mają potencjał zrewolucjonizowania wielu dziedzin poza fizyką, takich jak kryptografia czy informatyka.

Spośród tych szczególnych właściwości zdolność materii kwantowej do znajdowania się w superpozycji stanów jest z pewnością najbardziej odległa od klasycznej intuicji fizycznej. Komputer, którego bity logiczne są zbudowane z cząstek kwantowych, a więc komputer kwantowy, może wykorzystać tę właściwość do przyspieszenia działania pewnych algorytmów w znacznym stopniu. Inną właściwością fundamentalnie związaną z kwantowym światem jest splątanie – zjawisko, w którym kwantowe stany dwóch lub więcej cząstek stają się skorelowane w taki sposób, że stan jednej cząstki zależy od stanu innej, nawet gdy są one fizycznie oddzielone. Ta cecha również stanowi kluczowy element wielu algorytmów kwantowych. Ze wskazanych powodów właściwości te są uważane za „zasoby” konieczne do przeprowadzania obliczeń lub innych zadań technologicznych.

Niestety te bardzo wartościowe dla zastosowań technologicznych właściwości są bardzo delikatne, jeśli systemy je wykazujące nie są izolowane – w rzeczywistości fizycznej zaś nie istnieje coś takiego jak izolowany system. Gdy komputer kwantowy jest wystawiony na oddziaływanie z otoczeniem, na przykład interakcje z zewnętrznymi cząstkami lub promieniowaniem, może to zakłócić delikatną superpozycję stanów, zamieniając kwantowy bit w klasyczny, zdolny jedynie przyjmować wartości 0 lub 1 w sposób deterministyczny. To zjawisko nazywane jest dekoherencją i stanowi główną przyczynę błędów i ograniczenia wydajności algorytmów kwantowych. Splątane cząstki również muszą pozostać izolowane od zewnętrznych oddziaływań, aby zachować swoje szczególne splątane stany. W przeciwieństwie do komputerów klasycznych, które są stosunkowo odporne na oddziaływania zewnętrzne, komputery kwantowe są bardzo wrażliwe na swoje otoczenie ze względu na trudne do utrzymania stany kwantowe, na których są oparte. Ta wrażliwość ma istotne implikacje dla projektowania i działania systemów obliczeń kwantowych.

Aby przedłużyć żywotność stanów kwantowych i umożliwić dłuższe czasy obliczeń, komputery kwantowe muszą być chronione przed czynnikami wywołującymi dekoherencję, takimi jak fluktuacje temperatury, promieniowanie elektromagnetyczne i drgania, lub muszą działać w wysoce kontrolowanym i izolowanym środowisku.

Pierwsze próby ochrony urządzeń kwantowych przed szumem wywołanym przez otoczenie stanowią algorytmy korekcji błędów kwantowych, w których za pomocą dodatkowych kubitów można odzyskać część informacji utraconej z powodu zakłóceń. W tej pracy przedstawimy inne protokoły i metody, umożliwiające zachowanie lub zwiększenie zasobów kwantowych przechowywanych w systemach kwantowych w obecności zakłóceń. Struktura pracy jest następująca:

W Rozdziale 1 opisujemy ogólną metodykę opisywania różnych zasobów kwantowych w jednolity sposób, czyli tzw. teorie zasobów kwantowych.

W Rozdziale 2 opisujemy sposób, w jaki system kwantowy oddziałuje ze swoim otoczeniem i jak ta interakcja prowadzi do utraty koherencji, kładąc nacisk na szczególną właściwość zredukowanej dynamiki systemu, tzw. własność Markowa.

W Rozdziale 3 najpierw wykazujemy, że dla dłuższych czasów dynamika markowska zawsze niszczy korelacje między ewoluującym układem a izolowanym kubitom pomocniczym, bardzo przydatnym zasobem w procedurach kwantowych, oraz że najlepszym sposobem na zachowanie tych korelacji jest branie pod uwagę procesów niemarkowskich w każdej chwili czasu.

W Rozdziale 4 badamy pewien rodzaj przekształcenia pomagającego zachować zasoby, jeśli zostanie zastosowane do przygotowania układu przed działaniem szumu, czyli tzw. „rozcieńczanie zasobu”.

W Rozdziale 5 odpowiemy na trochę inne pytanie, tj. jaka jest optymalna procedura generowania zasobów, jeśli wyposażymy teorię zasobu w przekształcenie generujące dany zasób.